AD-A132 158 DETERMINATION DE LA DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE DES PARTICULES PAR LA ME..(U) DEFENCE RESEARCH ESTABLISHMENT VALCARTIER (QUEBEC) G ROY NOV 82 1/1

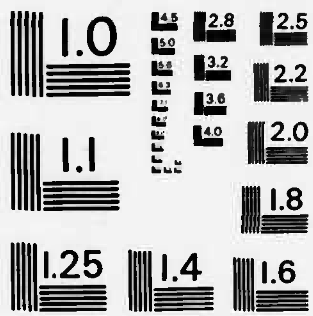
UNCLASSIFIED DREV-R-4278/82 F/G 4/1 NL

END

DATE FILMED

10 - 83

DTIC



MICROCOPY RESOLUTION TEST CHART
NATIONAL BUREAU OF STANDARDS-1963-A

UNCLASSIFIED
UNLIMITED DISTRIBUTION

DREV REPORT 4278/82
FILE: 3621B-005
NOVEMBER 1982

CRDV RAPPORT 4278/82
DOSSIER: 3621B-005
NOVEMBRE 1982

DÉTERMINATION DE LA DISTRIBUTION GRANULOMÉTRIQUE DES PARTICULES PAR LA MESURE DE LA TRANSMISSION D'UN AÉROSOL SÉDIMENTANT

G. Roy

DREV R-4278/82 (UNCLASSIFIED)

Research and Development Branch, DND, Canada.
DREV, P.O. Box 8800, Courcelette, Que. G0A 1R0

"Aerosol Size Distribution using the Extinction-Sedimentation Inversion Technique" by G. Roy

The results of a feasibility study for determining aerosol size distribution using the extinction-sedimentation inversion technique are presented. It was found that the height of the dissemination chamber, may affect the value of the results.

Centre de Recherches pour la Défense
Defence Research Establishment
Valcartier, Québec

BUREAU - RECHERCHE ET DEVELOPPEMENT
MINISTERE DE LA DÉFENSE NATIONALE
CANADA

RESEARCH AND DEVELOPMENT BRANCH
DEPARTMENT OF NATIONAL DEFENCE
CANADA

NON CLASSIFIÉ
DIFFUSION ILLIMITÉE

DREV R-4278/82
FILE: 3621B-005

UNCLASSIFIED

CRDV R-4278/82
DOSSIER: 3621B-005

DETERMINATION DE LA DISTRIBUTION GRANULOMÉTRIQUE DES PARTICULES PAR LA MESURE DE LA TRANSMISSION D'UN AEROSOL SÉDIMENTANT

par

G. Roy

CENTRE DE RECHERCHES POUR LA DEFENSE

DEFENCE RESEARCH ESTABLISHMENT

VALCARTIER

Tél: (418) 844-4271

Québec, Canada

November/novembre 1982

NON CLASSIFIE

ABSTRACT

The results of a feasibility study for determining aerosol size distribution using the extinction-sedimentation inversion technique are presented. It was found that the height of the dissemination chamber, may affect the value of the results.

RÉSUMÉ

Ce rapport présente les résultats d'une étude de faisabilité de l'implantation d'une méthode optique, basée sur la mesure du coefficient d'extinction, pour déterminer la distribution granulométrique d'aérosols en sédimentation. L'étude a révélé que la hauteur de la chambre de dissémination peut avoir une influence sur la valeur des résultats obtenus.

TABLE DES MATIERES

LISTE DES SYMBOLES

A	constante déterminée numériquement
C	constante déterminée numériquement
C_s	coefficient de correction à la vitesse de sédimentation
d	diamètre d'une particule (variable)
d_g	diamètre moyen géométrique (par nombre de particules)
d_m	diamètre moyen des particules (par masse)
$F(\ )$	distribution des particules (Log-Probablilité)
g	9.81 m/s
h	hauteur de la source laser et des papiers-filtres
H	hauteur de la chambre de dissémination
$\overline{H}(\ )$	fonction escalier (descendante)
$I(t)$	intensité lumineuse mesurée en fonction du temps
I_o	intensité lumineuse en l'absence d'aérosol
k	constante de Boltzman
$K(x_n, n)$	efficacité de diffusion

l	libre parcours moyen des molécules d'air
L	longueur du chemin optique
m	masse de dépôts sur le papier-filtre
M	masse totale des particules
M_{fl}	masse d'aérosol déposée par sédimentation sur un papier-filtre découvert au début de la sédimentation
M_p	masse d'aérosol disséminée présente au début de la sédimentation
n	indice de réfraction
n(r)	fonction de distribution
N	nombre de particules par unité de volume
r	rayon d'une particule (variable)
r_p	particule de rayon p
r_F	particule de rayon égal à $(\frac{9h\mu}{2\rho_p g t_F})^{\frac{1}{2}}$
r_M	particule de rayon égal à $(\frac{9h\mu}{2\,\rho_p g t_1})^{\frac{1}{2}}$
S	aire du papier-filtre
S_c	aire du plancher de la chambre de dissémination

t	temps (variable)
t_1	temps où le papier-filtre 1 est découvert
t_D	temps du début de la dissémination
T	température de la pièce
T_c	temps caractéristique d'agglomération par diffusion
v_s	vitesse d'une particule sous l'influence du champ de gravité
V_c	volume de la chambre de dissémination
X_n	$2\pi r/\lambda$
α	$\frac{9}{2}\left(\frac{\mu h}{(\rho_p-\rho)g}\right)$
λ	longueur d'onde
μ	viscosité de l'air
ρ	densité de l'air
ρ_p	densité des particules
σ	section efficace de collision
T	densité optique
T_0	densité optique à $t = 0$

1.0 INTRODUCTION

La dimension des particules est un facteur déterminant de l'efficacité d'un aérosol à diffuser la lumière. Une même quantité d'aérosol diffusera plus ou moins efficacement la lumière pour des distributions granulométriques différentes.

Il existe plusieurs méthodes pour mesurer la distribution granulométrique d'un aérosol. Il y a d'abord les méthodes optiques qui regroupent une grande variété d'instruments allant du microscope au vélocimètre laser à effet Doppler. Il y a aussi les méthodes non-optiques comme l'utilisation de grillages fins, les impacteurs en cascade, l'étude de la sédimentation de l'aérosol dans le temps, et le compteur Coulter modèle TA II, de Coulter Electronics Inc.

Ce rapport présente les résultats d'une étude de faisabilité de l'implantation d'une méthode optique, basée sur la mesure du coefficient d'extinction, pour déterminer la distribution granulométrique d'aérosols en sédimentation dans la grande chambre en forme de silo du CRDV.

La technique de mesure, appelée TISE (Technique d'Inversion de Sédimentation et Extinction), est appliquée à un aérosol, la poudre de verre #3419-2 de Ferro Industrial Products Ltd, pour en déterminer la distribution granulométrique. Dans le but de vérifier si les conditions de validité de cette technique étaient respectées, une étude de la masse d'aérosol déposée par sédimentation sur des papiers-filtres en fonction du temps a été faite.

Les aspects théoriques de la technique TISE et de l'évaluation des sédiments sur les papiers-filtres sont décrits aux chapitres 2 et 3. Enfin les résultats obtenus lors des essais sont présentés au

chapitre 4. L'appendice A donne l'information relative à l'ajustement d'une fonction mathématique aux valeurs mesurées de la densité optique. L'appendice B traite de l'aspect informatique de l'étude.

Ce travail a été effectué au CRDV entre mars et août 81 dans le cadre du NCP 21B05 "Aerosols".

2.0 TRANSMISSION OPTIQUE AU TRAVERS D'UN AÉROSOL EN SÉDIMENTATION

L'aspect théorique de la technique de détermination de la distribution de la grosseur des particules est décrit dans ce chapitre. On étudie en premier lieu la vitesse de sédimentation des particules sous l'influence du champ gravitationnel, puis on s'intéresse à la transmission d'un aérosol monodispersé en sédimentation, pour en arriver finalement à développer une expression analytique de la distribution granulométrique pour les aérosols polydispersés.

2.1 Sédimentation

Une particule sphérique dans un milieu visqueux non perturbé (absence de gradient de température, absence de vent, etc.) tombe sous l'influence du champ gravitationnel à une vitesse constante (réf. 1) égale à:

$$v_s = \frac{2\rho_p g r^2}{9\mu} C_s\left(1 - \frac{\rho}{\rho_p}\right) \qquad [1]$$

où r est le rayon de la particule en cm.
ρ est la densité du fluide g/cm^3.
ρ_p est la densité de la particule g/cm^3.
g égale 981 cm/s^2.
μ est la viscosité du fluide g/cm.s.

avec

$$C_s = 1 + \frac{\ell}{r}\left(A_1 + A_2\, e^{-A_3 2r/\ell}\right) \qquad [2]$$

où ℓ est le libre parcours moyen des molécules du fluide,

$A_1 = 1.257$,

$A_2 = 0.400$,

$A_3 = 0.55$.

Le tableau I donne la valeur du coefficient C et la vitesse de sédimentation de particules de diamètre différent.

TABLEAU I

Propriété de transport des aérosols (réf. 1)
Particules sphériques dans l'air à 20°C, 1 atm

d_p (μm)	C	v_s (cm/s) ($\rho_p = 1$ g/cm^3)
0.1	2.85	8.26×10^{-5}
0.2	1.865	2.62×10^{-4}
0.5	1.326	1.00×10^{-3}
1.0	1.164	3.52×10^{-3}
2.0	1.082	1.31×10^{-2}
5.0	1.032	7.80×10^{-2}
10.0	1.016	3.07×10^{-1}
20.0	1.008	1.22
50.0	1.003	7.58
100.0	1.00016	30.3

Il apparaît ainsi que pour les particules plus grosses que 2 µm le coefficient C_s est à peu près indépendant du diamètre de celles-ci et tend vers 1. Par conséquent, pour les particules plus grosses que 2 µm, il est possible d'obtenir une expression analytique simple pour le diamètre de ces particules en fonction de leur vitesse de sédimentation, soit:

$$r = \left(\frac{9\mu v_s}{2g(\rho_p - \rho)} \right)^{\frac{1}{2}} \qquad [3]$$

2.2 Transmission optique au travers d'un aérosol monodispersé en sédimentation

Un aérosol monodispersé est un aérosol dont les particules ont toutes le même diamètre et par conséquent, la même vitesse de chute. La figure 1 représente la transmission optique au travers d'un aérosol monodispersé de concentration uniforme. A un temps t_0, l'aérosol est disséminé instantanément. Après un temps $t_1 - t_0$, il n'existe plus d'aérosol au-dessus d'une hauteur H-h (H et h sont définis à la fig. 3). La vitesse de sédimentation est donnée par:

$$v_s = \frac{h}{t_1 - t_0} \qquad [4]$$

En substituant la valeur de v_s dans l'éq. 2, on obtient le rayon des particules constituant l'aérosol, soit:

$$r = \left(\frac{9h\mu}{2g\ (t_1 - t_0)\ (\rho_p - \rho)} \right)^{\frac{1}{2}} \qquad [5]$$

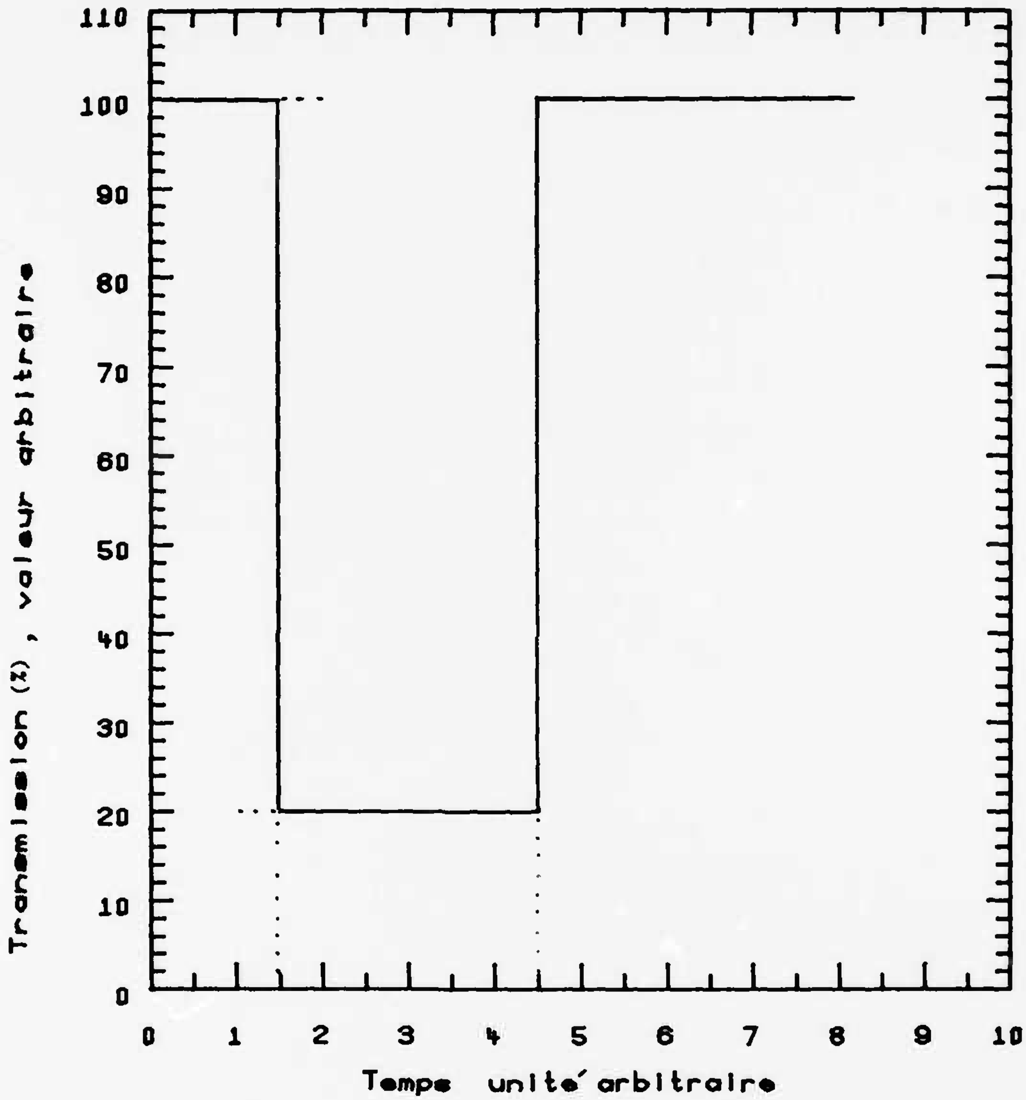


FIGURE 1 - Transmission en fonction du temps d'un aérosol monodispersé se sédimentant

Connaissant le rapport I_{min}/I_o, où I_{min} et I_o sont les intensités lumineuses transmises en présence et en l'absence de l'aérosol, il est possible en utilisant la loi de Beer de connaître le nombre de particules (par unité de volume) qui ont été disséminées.

$$I = I_o e^{-T} \quad \text{où} \quad T = \ln I/I_o \qquad [6]$$

où (réf. 1)

$$T = \pi \int_0^l \int_0^\infty K(x_n, n)\, r^2 n(r) dr\, dl \qquad [7]$$

où $K(x_n, n)$ est l'efficacité de diffusion,
n est l'indice de réfraction,
x_n est égal à $2\pi r/\lambda$,
λ est la longueur d'onde de la lumière incidente,
$n(r)$ est la fonction de distribution,
r est le rayon d'une particule,
L est la longueur du chemin optique.

La fonction $K(x_n, n)$ peut être évaluée à l'aide de la théorie de Mie. Elle est du type oscillant et tend vers 2 pour les valeurs élevées de x_n.

Pour un aérosol monodispersé, la fonction de distribution peut s'écrire à l'aide d'une fonction de Dirac centrée sur le rayon r_p des particules:

$$n(r) = N\delta(r_p - r) \qquad [8]$$

où N est le nombre de particules par unité de volume.

Après intégration et en isolant N, il apparaît que

$$N = \frac{T}{L\pi r_p^2 \; K(x_n, n)} \simeq \frac{T}{2\pi r_p^2 L} \qquad [9]$$

pour les valeurs élevées de x_n.

Il est donc possible de déterminer la grosseur et le nombre de particules d'un aérosol monodispersé en étudiant sa vitesse de sédimentation et la transmission optique à travers celui-ci.

2.3 <u>Transmission optique au travers d'un aérosol polydispersé en sédimentation</u>

Une analyse du type précédent pourrait être faite pour un aérosol polydispersé en utilisant des sommations. Cependant, Deepak et Vangham (réf. 2) ont développé une méthode plus analytique, relativement simple à utiliser, qui donne directement la fonction de distribution.

2.3.1 <u>Forme générale de la fonction de distribution</u>

Considérons un aérosol instantanément disséminé et distribué uniformément au temps t = 0. Après un temps t, toutes les particules qui ont un diamètre plus grand que r(t) seront au-dessous du niveau h.

$$r(t) = \left(\frac{9}{2} \; \frac{\mu h}{(\rho_p - \rho) \; gt}\right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{\alpha}{t}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad [10]$$

La loi de la transmission optique (Beer) devient une fonction du temps:

$$\frac{I(t)}{I_o} = e^{-T(t)} \qquad [11]$$

où

$$T(t) = \pi L \int_{r_1}^{r_2(t)} K(x_n, n)\, r^2\, n(r)\, dr \qquad [12]$$

à un temps t + Δt, on a:

$$T(t + \Delta t) = \pi L \int_{r_1}^{r_2(t + \Delta t)} K(x_n, n)\, r^2\, n(r)\, dr \qquad [13]$$

En utilisant le théorème de la valeur moyenne pour l'évaluation de ces deux intégrales et la définition de la dérivée, on obtient:

$$\frac{dT(t)}{dt} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{T(t + \Delta t) - T(t)}{\Delta t} \qquad [14]$$

$$= \pi L K(x(t), n)\, n(r(t))\, r^2(t) \frac{dr(t)}{dt} \qquad [15]$$

De cette dernière équation, la fonction de distribution peut être isolée:

$$n(r(t)) = \frac{dT(t)}{dt} \Big/ \pi L \frac{dr(t)}{dt} K(x(t), n)\, r^2(t) \qquad [16]$$

2.3.2 Equation de la fonction de distribution

Pour définir complètement l'équation de la fonction de distribution [16], on doit connaître les dérivées par rapport au temps de la densité optique et du rayon critique des particules.

Le choix d'une fonction pour représenter la densité optique permet de définir analytiquement la fonction de distribution. Pour ajuster les points expérimentaux, nous avons choisi la fonction suivante:

$$T(t) = \frac{T_0}{A(e^{Ct} - 1) + 1} \qquad [17]$$

T_0 est la valeur de la densité optique à $t = 0$, les constantes A et C sont déterminées à l'aide de la méthode des moindres carrés après tranformation de l'éq. 17 (voir appendice A).

Les expressions pour les dérivées sont obtenues à l'aide des éq. 17 et 10.

$$\frac{dT(t)}{dt} = \frac{-ACT_0 e^{Ct}}{(A(e^{Ct}-1)+1)^2}$$

$$\frac{dr(t)}{dt} = -\frac{1}{2}\ \alpha^{\frac{1}{2}}\ t^{-3/2} \qquad [18]$$

L'expression pour la fonction de distribution devient

$$n(r(t)) = \frac{2ACT_0 e^{Ct} \quad t^{5/2}}{(A(e^{Ct}-1)+1)^2\ K(x(t),\ n)\pi L\alpha^{3/2}} \qquad [19]$$

Il est préférable d'exprimer la variable t en fonction de r de manière à éviter toute confusion

$$n(r) = \frac{ACT_0 e^{C\frac{\alpha}{r^2}}\ \alpha}{(A(e^{C\frac{\alpha}{r^2}} - 1) + 1)^2\ \pi L r^5} \qquad [20]$$

Pour cette dernière équation, l'efficacité de diffusion K a été fixée à 2. L'équation 20 est valide pour les particules de rayon plus grand que 1 µm.

3.0 MASSE THÉORIQUE DÉPOSÉE EN FONCTION DU TEMPS

La théorie décrite au chapitre 2, permettant de calculer la fonction de distribution granulométrique des particules, suppose que la sédimentation des particules se fait dans des conditions idéales, i.e.:

- pas d'agglomération par diffusion ou causée par la différence de vitesses de chute des particules de grosseurs variées,

- air calme,

- particules sphériques,

- perte par diffusion sur les murs négligeable.

Une façon de détecter la présence de processus affectant la vitesse de sédimentation de l'aérosol, et donc de délimiter la région de validité de la technique étudiée, consiste à mesurer la masse réelle déposée en fonction du temps et à la comparer à la masse calculée.

Le calcul de la masse déposée par sédimentation est effectué pour une distribution discrète, puis pour une distribution continue.

3.1 Calcul de la masse déposée par sédimentation: distribution discrète

Soit n le nombre de particules de rayon r par unité de volume, v_s la vitesse de sédimentation, t la variable de temps, h la hauteur

de la colonne d'aérosol au-dessus du filtre au temps $t = 0$, et S la surface du papier-filtre.

Si le papier-filtre est découvert au temps $t = 0$, le nombre de particules qui se sont déposées sur le papier après un temps t est donné par:

$$N_p = nSv_s t\, \overline{H}(t - h/v_s) \qquad [21]$$

La fonction $\overline{H}\,(t - h/v_s)$ est une fonction escalier (descendante); elle prend la valeur 1 pour les temps plus petits que h/v_s, et la valeur 0 pour les temps plus grands que h/v_s. Cette fonction représente le fait qu'après le temps h/v_s toutes les particules se sont déposées.

Si le papier-filtre est découvert à un temps t_1, alors l'expression pour le nombre de particules déposées après un temps t est

$$N_p = nSv_s\,(t - t_1)\,\overline{H}(t - (h/v_s - t_1)) \qquad [22]$$

Maintenant si l'on considère des particules de diamètre différent, l'expression 22 devient

$$N_p = (t - t_1)\; S\sum_{i=1}^{p} n_i v_i\, \overline{H}(t - (\frac{h}{v_i} - t_1)) \qquad [23]$$

où n_i est le nombre de particules par unité de volume, et v_i la vitesse de sédimentation des particules de type i.

Ce que l'on mesure sur le papier-filtre n'est pas le nombre de particules, mais plutôt la masse déposée. La masse déposée est égale au flux de masse à travers la surface A multiplié par le temps écoulé, soit:

$$m = \frac{8\pi\rho_p^{\ 2}}{27} (t - t_1) \frac{Sg}{\mu} \sum_{i=1}^{p} n_i r_i^5 \ \overline{H}(t - (\frac{9h\mu}{2\rho_p g r_i^2} - t_1)) \qquad [24]$$

où la vitesse v_i a été remplacée par l'expression $\frac{2}{9} \frac{\rho_p g r^2}{\mu}$ [1] et r est le rayon des particules.

3.2 Calcul de la masse déposée par sédimentation: distribution continue

Soit n(r) une distribution granulométrique continue, en rayon des particules, tel que:

$$N = \int_0^\infty n(r)dr \qquad [25]$$

où N est le nombre total de particules. Le nombre de particules déposées sur le papier-filtre à un temps t lorsque celui-ci a été découvert à un temps t_1 après le début de la sédimentation est donné par:

$$N_p = (t - t_1)S \int_0^\infty n(r)\ v_s(r)\ \overline{H}\ (t -(\frac{h}{v_s(r)} - t_1))\ dr \qquad [26]$$

La masse déposée sur le papier-filtre est donc:

$$m = \frac{8\pi\rho_p^{\ 2}}{27} (t - t_1) \frac{Sg}{\mu} \int_0^\infty n(r)r^5\ \overline{H}\ (t -(\frac{9h\mu}{2\rho_p g r^2} - t_1))dr \qquad [27]$$

Le temps t_1 correspond à un rayon maximum r_M égal à

$(\frac{9h\mu}{2\rho_p g t_1})^{\frac{1}{2}}$, ce qui implique qu'au temps t_1 les particules dont le rayon est plus grand que r_M sont déjà déposées sur la plaque recouvrant le papier-filtre. Au temps t_F où le papier-filtre est "caché" à nouveau, toutes les particules de rayon supérieur à $r_F = (\frac{9h\mu}{2\rho_p g t_F})^{\frac{1}{2}}$, mais inférieur à r_M, se sont déposées. Leur contribution à la masse de sédiments sur le filtre est:

$$m_{(r_M > r > r_F)} = \frac{8\pi}{27} \frac{\rho_p^2 g S}{\mu} \int_{r_F}^{r_M} \left(\frac{h}{v_s(r)} - t_1\right) n(r) r^5 dr \quad [28]$$

où $v_s(r) = \frac{2}{9} \frac{\rho_p g r^2}{\mu}$

Les particules plus petites que r_F se déposent de façon continue dans l'intervalle $[t_1, t_F]$. Leur contribution à la masse totale déposée sur le papier-filtre est:

$$m_{(r < r_F)} = \frac{8\pi}{27} \rho_p^2 (t_F - t_1) \frac{Sg}{\mu} \int_0^{r_F} n(r) r^5 dr \quad [29]$$

La masse totale déposée sur le filtre s'écrit donc:

$$m = m_{(r < r_F)} + m_{(r_M > r > r_F)} \quad [30]$$

3.3 Choix de la fonction de distribution

L'évaluation de la masse déposée sur le papier-filtre est possible si la fonction de distribution granulométrique est connue. Il est à noter que l'inverse est également possible. La mesure de la masse qui se dépose en fonction du temps permet de déterminer la fonction de distribution (réf. 3).

Dans cette section, deux fonctions de distribution sont présentées. La première a été établie à l'aide d'un compteur Coulter, modèle TA II (de Coulter Electronics, Inc) avant dissémination de la poudre. La seconde a été mesurée avec la méthode TISE.

3.3.1 Fonction de distribution mesurée par le compteur Coulter

Le compteur Coulter mesure le changement de conductivité d'un électrolyte placé entre deux électrodes lorsqu'une particule passe entre celles-ci. Le signal enregistré est proportionnel au volume de la particule. Après discrimination et manipulation des données, l'appareil fournit les pourcentages de la masse de l'ensemble des particules analysées qui ont un diamètre plus petit que d.

Une mesure de la distribution initiale (avant dissémination) des particules en termes du pourcentage de la masse provenant des particules dont le diamètre est inférieur à d a été obtenue pour la poudre de verre #3419-2. La densité mesurée de ces billes de verre est de 4.2 g/cm^3. La distribution granulométrique en termes de masse peut être représentée par une fonction de distribution de type Log-Probabilité (fig. 2).

$$F(m) = \frac{M}{\sqrt{2\pi}\ \mathrm{Log}\ \sigma_m}\ e^{-\frac{(\mathrm{Log}\ d\ -\ \mathrm{Log}\ d_m)^2}{2\ \mathrm{Log}^2\sigma_m}} \qquad [31]$$

où F(m) est la masse de l'ensemble des particules ayant un diamètre d,
M est la masse totale des particules,
σ_m est la déviation standard géométrique par masse,
d_m est le diamètre moyen géométrique par masse.

50% des particules ont une masse plus petite que celle d'une particule de diamètre d_m.

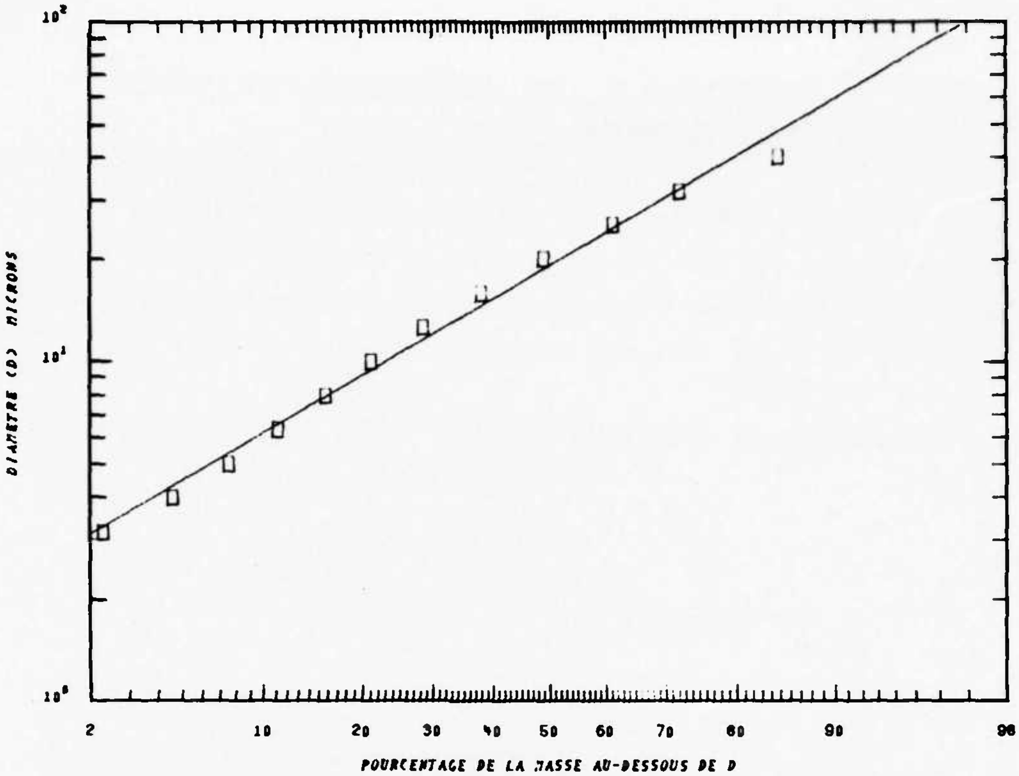


FIGURE 2 - Distribution des particules selon une échelle Log-Probabilité

La courbe de la fig. 2, telle que déterminée par la méthode des moindres carrés, est celle qui représente le mieux les valeurs mesurées à l'aide du compteur Coulter.

Ainsi, en utilisant l'expression mathématique représentant la meilleure courbe ou en procédant graphiquement, on trouve un diamètre moyen par masse de 10.5 µm. La déviation standard géométrique par masse se calcule comme suit (réf. 4):

$$\sigma_m = \frac{d_{84.13\%}}{d_{50\%}} = \frac{d_{50\%}}{d_{15.87\%}} \qquad [32]$$

où les diamètres indiqués correspondent à 15.87%, 50% et 84.13% de la masse. Celle-ci est de 2.42 pour la poudre de verre #3419-2.

3.3.2.1 Distribution de type Log-Probabilité en termes du nombre de particules

A la section précédente une distribution Log-Probabilité en termes de masse a été ajustée aux mesures du compteur Coulter. Il est nécessaire de transformer cette distribution en termes de masse, en distribution en termes du nombre de particules.

Le nombre de particules de diamètre d, par unité de volume, est donné par:

$$F(d) = \frac{N}{\sqrt{2\pi}\ \mathrm{Log}\ \sigma_g} e^{-\frac{(\mathrm{Log}\ d - \mathrm{Log}\ d_g)^2}{2\ \mathrm{Log}^2 \sigma_g}} \qquad [33]$$

où N est le nombre total de particules par unité de volume,

σ_g est la déviation standard géométrique par nombre de particules,

d_g est le diamètre moyen géométrique.

50% des particules ont un diamètre plus petit que d_g.

La déviation standard géométrique par masse est la même que la déviation standard par nombre (réf. 4). Le diamètre moyen géométrique par nombre est relié au diamètre moyen géométrique par masse par la relation:

$$\mathrm{Log}\ d_g = \mathrm{Log}\ d_m - 6.9078\ \mathrm{Log}^2\ \sigma_g \qquad [34]$$

En utilisant les valeurs pour d_m et σ_g de la section précédente, on obtient une valeur de 1.82 µm pour le diamètre moyen géométrique par nombre.

3.3.1.3 Relation entre la fonction F(d) et la fonction n(r)

La fonction F(d) ne peut être utilisée directement pour évaluer les dépôts sur les papiers-filtres. En fait, en plus du changement de variable $d \rightarrow r$, rappelons qu'une distribution Log-Probabilité est le résultat d'un autre changement de variable (réf. 5):

$$n(r)dr = \frac{N}{\sqrt{2\pi}\ \mathrm{Log}\ \sigma_g} e^{-\frac{(\mathrm{Log}\ r - \mathrm{Log}\ r_g)^2}{2\ \mathrm{Log}\ \sigma_g}} d\mathrm{Log}\ r \qquad [35]$$

donc

$$n(r) = \frac{F(r)}{r} \cdot \mathrm{Log}\ e \qquad [36]$$

Le nombre de particules par unité de volume (N) étant inconnu jusqu'ici, il fera donc l'objet de la section suivante.

3.3.1.4 Densité de particules dans la chambre de dissémination

L'évaluation de la masse déposée sur les papiers-filtres exige la connaissance de la fonction n(r). A l'aide du compteur Coulter, on a établi les proportions relatives du nombre de particules, mais leur densité n'est pas connue.

Une masse de poudre M_i est disséminée dans la chambre au temps t_D pendant une période de 30 s. Lors de la dissémination et après, pendant une autre période de 30 s, l'intérieur de la chambre est un milieu turbulent puisque les ventilateurs de mélange fonctionnent. Lors du mélange, des pertes de particules surviennent. Il s'ensuit que la masse de poudre disséminée n'est plus M_i mais plutôt M_p. La détermination de la masse M_p se fait en mesurant la masse M_{fl} d'aérosol déposée par sédimentation sur un papier-filtre découvert au début de la sédimentation.

$$M_p = \frac{h}{H-h} \cdot \frac{S_c}{S} \cdot M_{f_1} \qquad [35]$$

où S_c et S sont les aires du plancher de la chambre et du papier filtre, les hauteurs h et H sont définies à la fig. 3.

La densité des particules est donnée par

$$N = \frac{M_p/V_c}{\frac{4\pi\rho}{3} \int_0^\infty G(r)r^3dr} \qquad [36]$$

où V_c est le volume de la chambre et

$$G(r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\ \mathrm{Log}\ \sigma_g} \cdot \frac{e}{r}^{-\frac{(\mathrm{Log}\ r - \mathrm{Log}\ r_g)^2}{2\ \mathrm{Log}^2\ \sigma_g}} \cdot \mathrm{Log}\ e \qquad [37]$$

3.3.2 Calcul de la masse déposée en utilisant la fonction de distribution mesurée par la méthode TISE

Le calcul de la masse déposée sur les papiers-filtres en utilisant la fonction de distribution mesurée par la méthode TISE est relativement simple. Il suffit de substituer la fonction de distribution n(r) établie à l'éq. 20 aux éq. 28 et 29.

Il est à noter qu'il n'est pas nécessaire, pour calculer la masse déposée, de déterminer la densité de particules, celle-ci est incluse implicitement dans l'expression de n(r).

4.0 MESURES ET DISCUSSION

Au chapitre 2, une méthode de détermination de la granulométrie a été présentée; alors qu'au chapitre 3 l'évaluation des dépôts de masse par sédimentation a été formulée mathématiquement. Dans ce cha-

pitre, les résultats expérimentaux et théoriques sont présentés et ensuite discutés.

4.1 Montage et méthode expérimentale

La fig. 3 illustre le montage utilisé. En dépit du fait que le plafond du silo a une forme semi-hémisphérique, il a été considéré que l'aérosol était distribué uniformément dans un cylindre de 11.5 m de hauteur. Un laser He-Ne (632.8 nm, 15 mW continu) de Spectra Physics, et un détecteur pyroélectrique de Laser Precision, modèle RP313-1, dont l'ouverture a été réduite à 0.5 cm de diamètre sont situés à 10 m du plafond de la chambre. Le détecteur est couplé à un Power Ratiometer, modèle RK 3441, de Laser Precision; cet instrument est raccordé à un enregistreur graphique.

Dix papiers-filtres Gelman ayant un diamètre de 4.7 cm sont déposés dans des boîtes cylindriques de 12 cm de haut. Chacune de ces dix boîtes est couverte d'une plaque d'aluminium. Neuf des papiers-filtres sont découverts successivement à différents temps t_N à l'aide de cordes reliées aux plaques d'aluminium. Le dixième papier-filtre sert de référence et est utilisé pour déterminer l'erreur sur la mesure de la masse déposée.

La dissémination de l'aérosol se fait à l'aide d'azote à une pression de 1.03 MPa. L'aérosol est contenu dans une bouteille de plastique dont le col est perforé de petits trous. Celle-ci est placée à 10 m du plancher.

La séquence des événements au cours d'une expérience est la suivante:

- allumer les ventilateurs de mélange à t_M,
- disséminer l'aérosol pendant 30 s à t_D
- arrêter les ventilateurs au temps t_s, soit 30 s

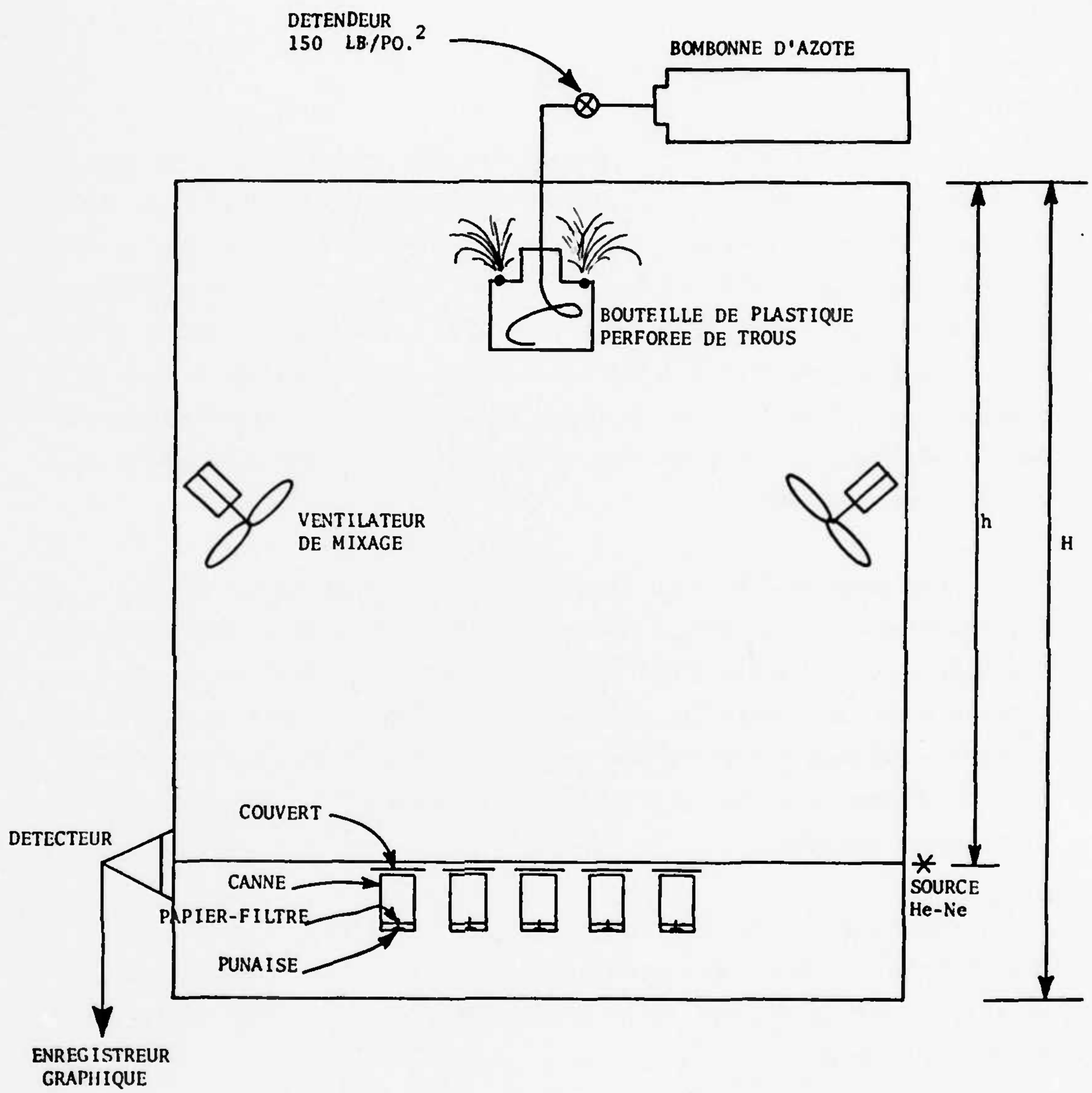


FIGURE 3 - Schéma du montage expérimental

après la fin de la dissémination,
- découvrir les papiers-filtres au temps t_N,
- évacuer le silo au temps t_F.

Comme le rapport hauteur sur diamètre des boîtes est élevé, les dépôts sur les papiers-filtres ne sont pas perturbés lors de l'évacuation du silo au temps t_F.

Deux expériences de sédimentation ont été effectuées avec la poudre de verre 3419-2 dans les conditions décrites à la section 1.1. Le tableau II présente les conditions d'opération pour les deux expériences.

TABLEAU II

	Masse dispersée (g)	Masse collectée sur filtre 1 (g)	Durée de fonctionnement des ventilateurs de mélange (s)	Durée de l'expérience après l'arrêt des ventilateurs de mélange (s)
E1	1310	0.0217	30	5430
E2	995	0.0112	90	5430

4.2 Transmission optique et fonction de distribution établie par la méthode TISE

La fig. 4 représente la transmission optique à travers la poudre de verre #3419-2 se sédimentant, en fonction du temps, dans les quantités indiquées au tableau II. La fig. 5 représente la densité optique dans la base naturelle, soit $-\ln I/I_0$. Les courbes en trait continu sont les meilleures qui représentent les ensembles de points

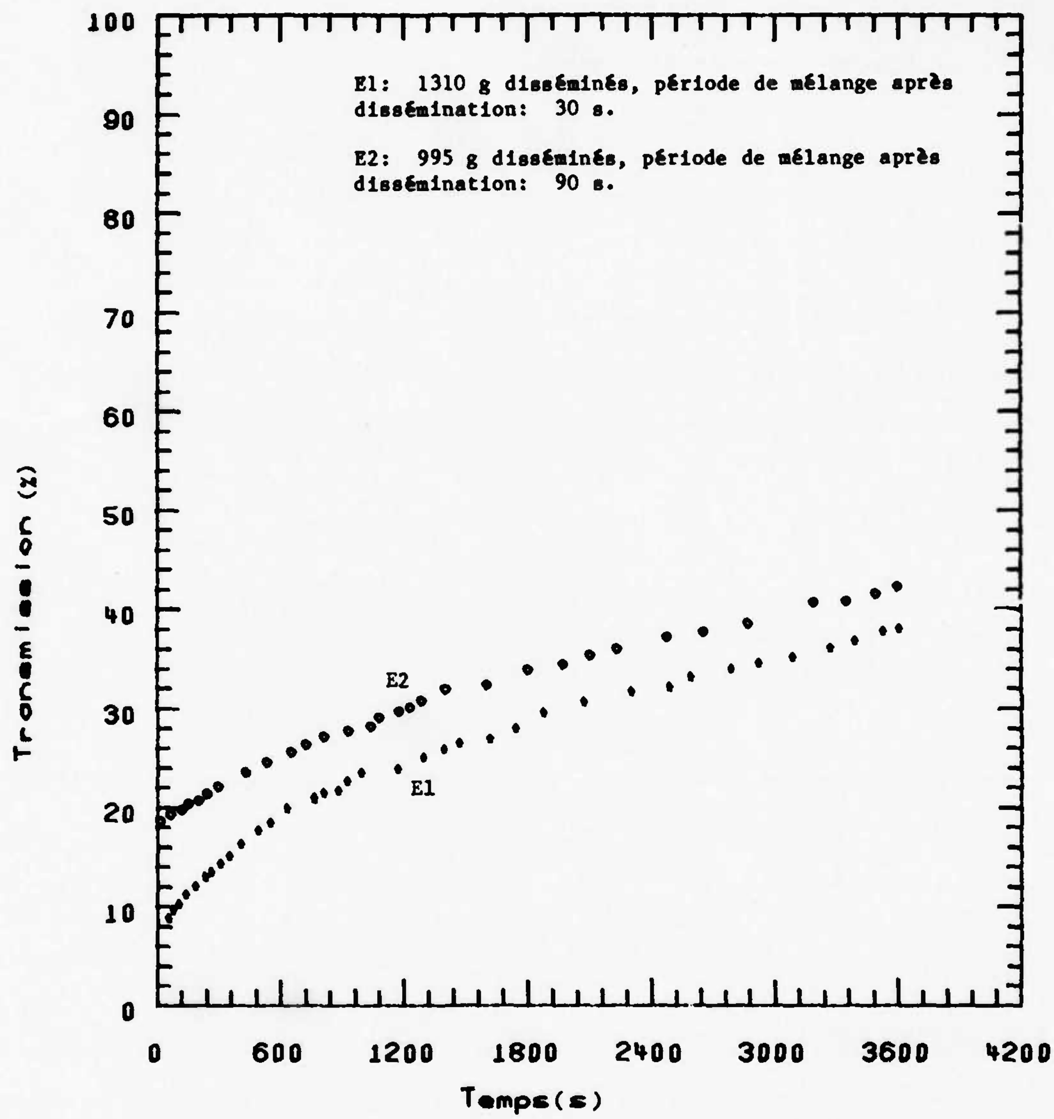


FIGURE 4 - Transmission en fonction du temps d'un faisceau laser He-Ne (0.6328 µm) au travers de la poudre de verre #3419-2 se sédimentant

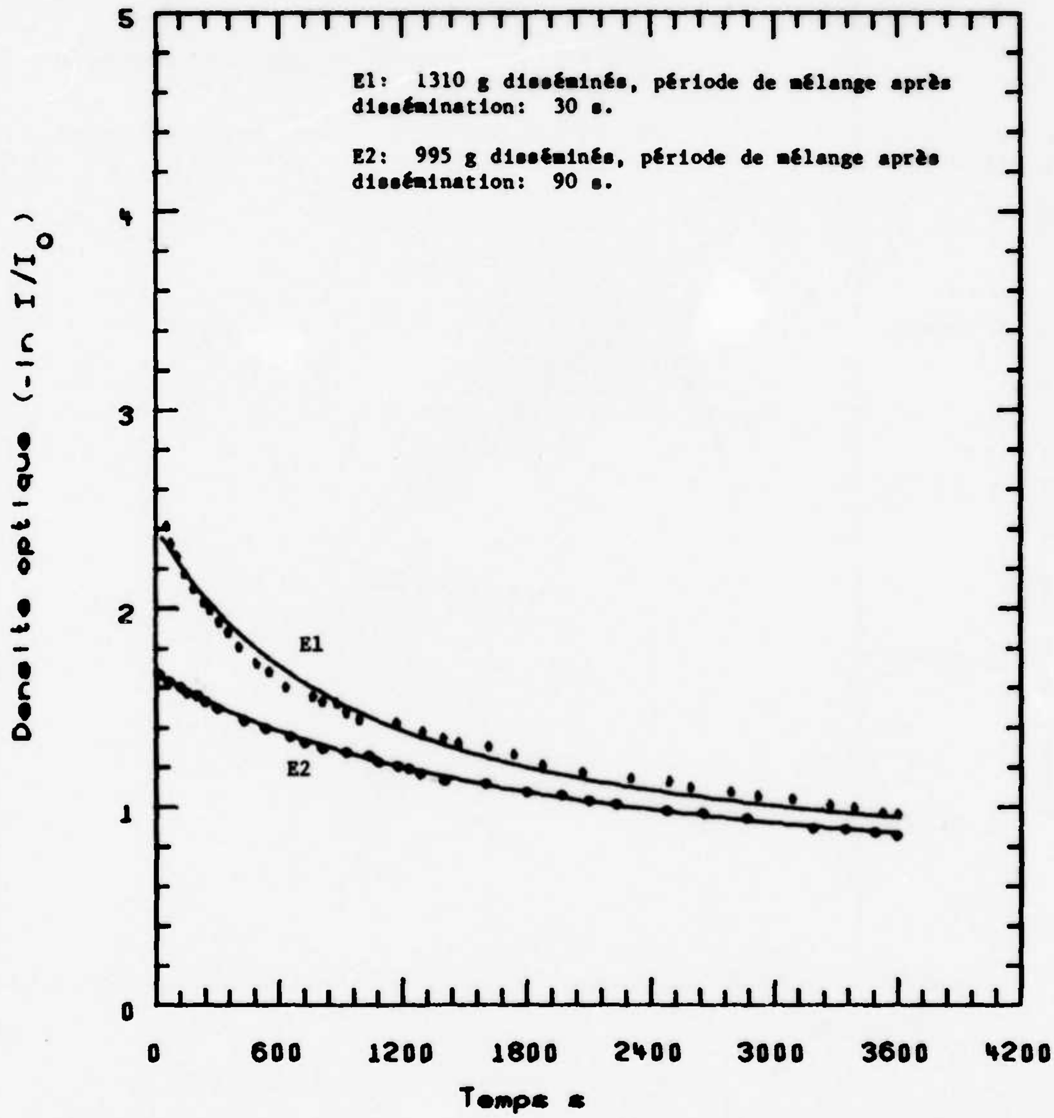


FIGURE 5 - Variation en fonction du temps de la densité optique produite par la sédimentation de la poudre de verre #3419-2

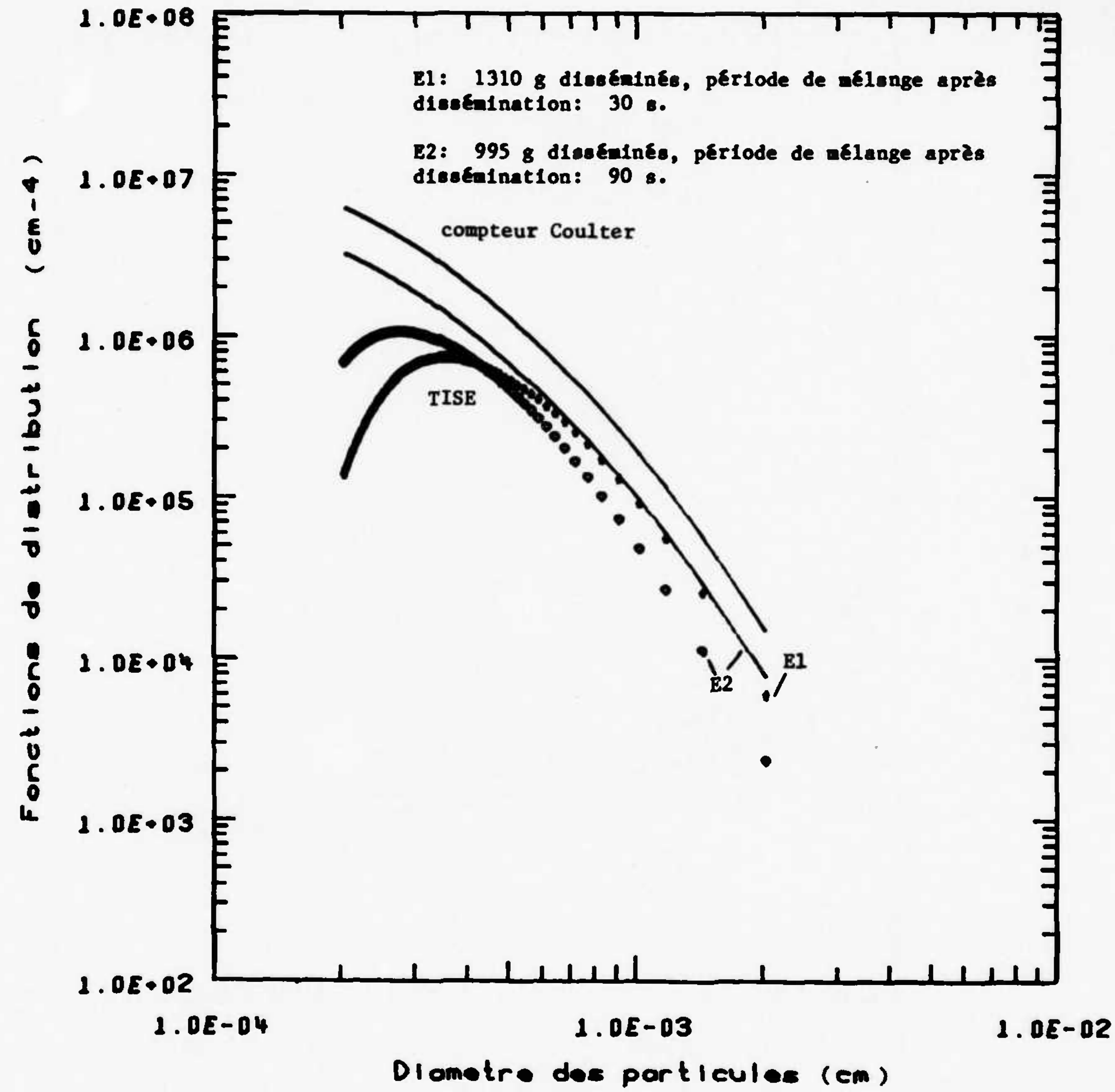


FIGURE 6 - Fonctions de distribution obtenues par la méthode TISE et à l'aide du compteur Coulter

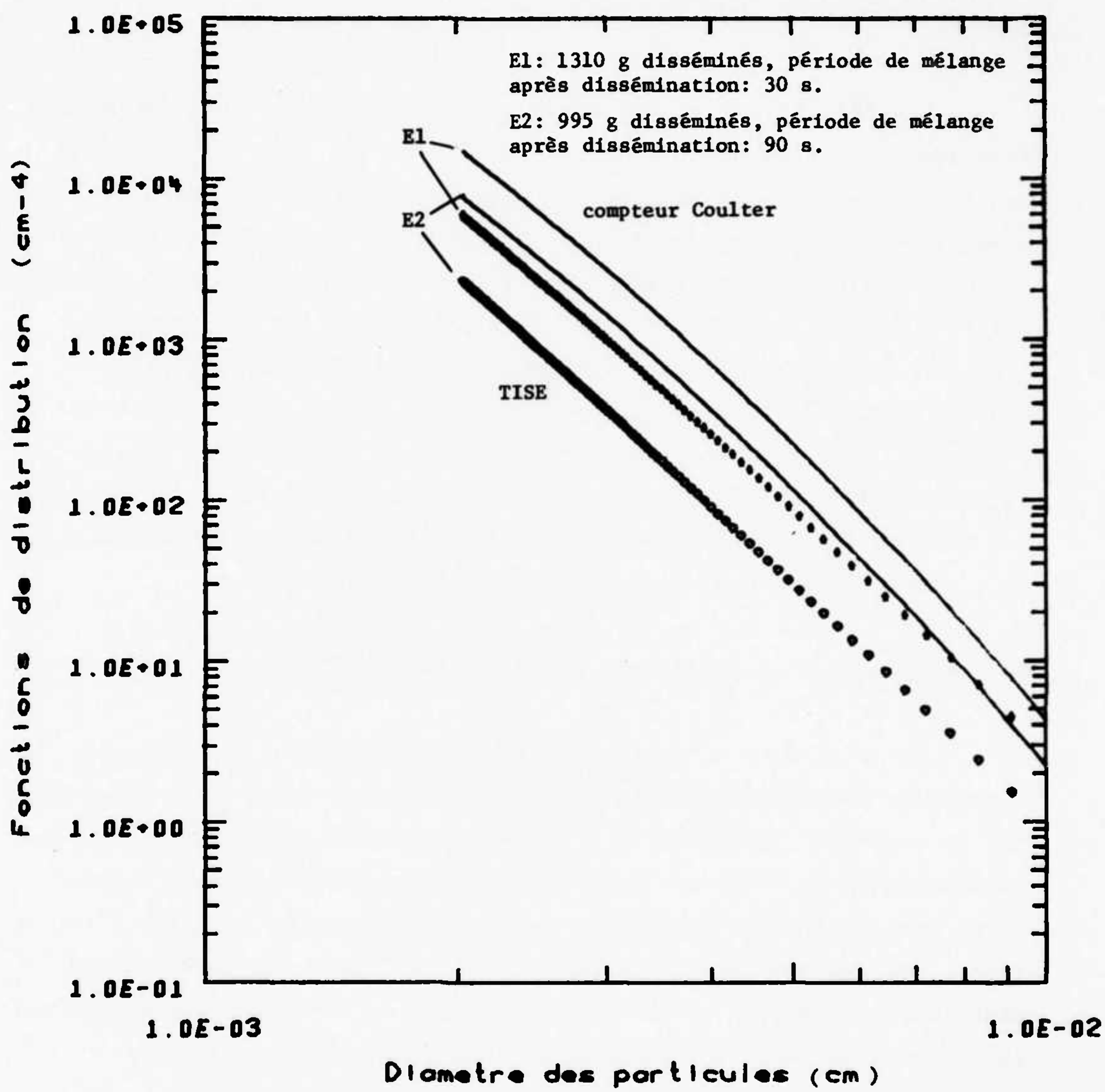


FIGURE 7 - Fonctions de distribution obtenues par la méthode TISE et à l'aide du compteur Coulter

expérimentaux selon l'expression mathématique 17. Les détails relatifs au calcul des coefficients de la meilleure courbe sont donnés en appendice A.

Les fig. 6 et 7 représentent, sur des échelles différentes, les fonctions de distribution mesurées par la méthode TISE (éq. 20) en utilisant les expressions mathématiques des meilleures courbes de la densité optique. Les fonctions de distribution initiale des poudres avant dissémination déterminées à l'aide d'un compteur Coulter et calculées à la section 3.3.1.3 ont été mises en graphique en trait continu. On remarque, que pour les valeurs de diamètre élevées, les courbes des distributions sont parallèles et relativement près l'une de l'autre. Les courbes commencent à prendre une allure différente à 10 μm. Il est à noter que pour les diamètres plus petits que 4.6 μm, les fonctions de distribution obtenues par la méthode TISE proviennent de l'extrapolation des courbes de la densité optique.

4.3 Comparaison des sédiments expérimentaux et théoriques

Les fig. 8, 9 et 10 représentent les sédiments expérimentaux mesurés et ceux établis à l'aide des fonctions de distribution mesurées par le compteur Coulter et la méthode TISE. Les courbes des sédiments expérimentaux se croisent l'une et l'autre; cependant, ce croisement n'est pas significatif puisqu'il est à l'intérieur de la marge d'erreur. Les courbes des sédiments calculés à l'aide des fonctions de distribution établies selon la méthode TISE se croisent également; ceci est dû au fait que les fonctions de distribution se croisent.

Les fig. 11 et 12 reprennent les résultats présentés aux fig. 8, 9 et 10 en les regroupant par expérience. Les sédiments obtenus lors de l'expérience E1, et ceux établis à l'aide de la fonction de

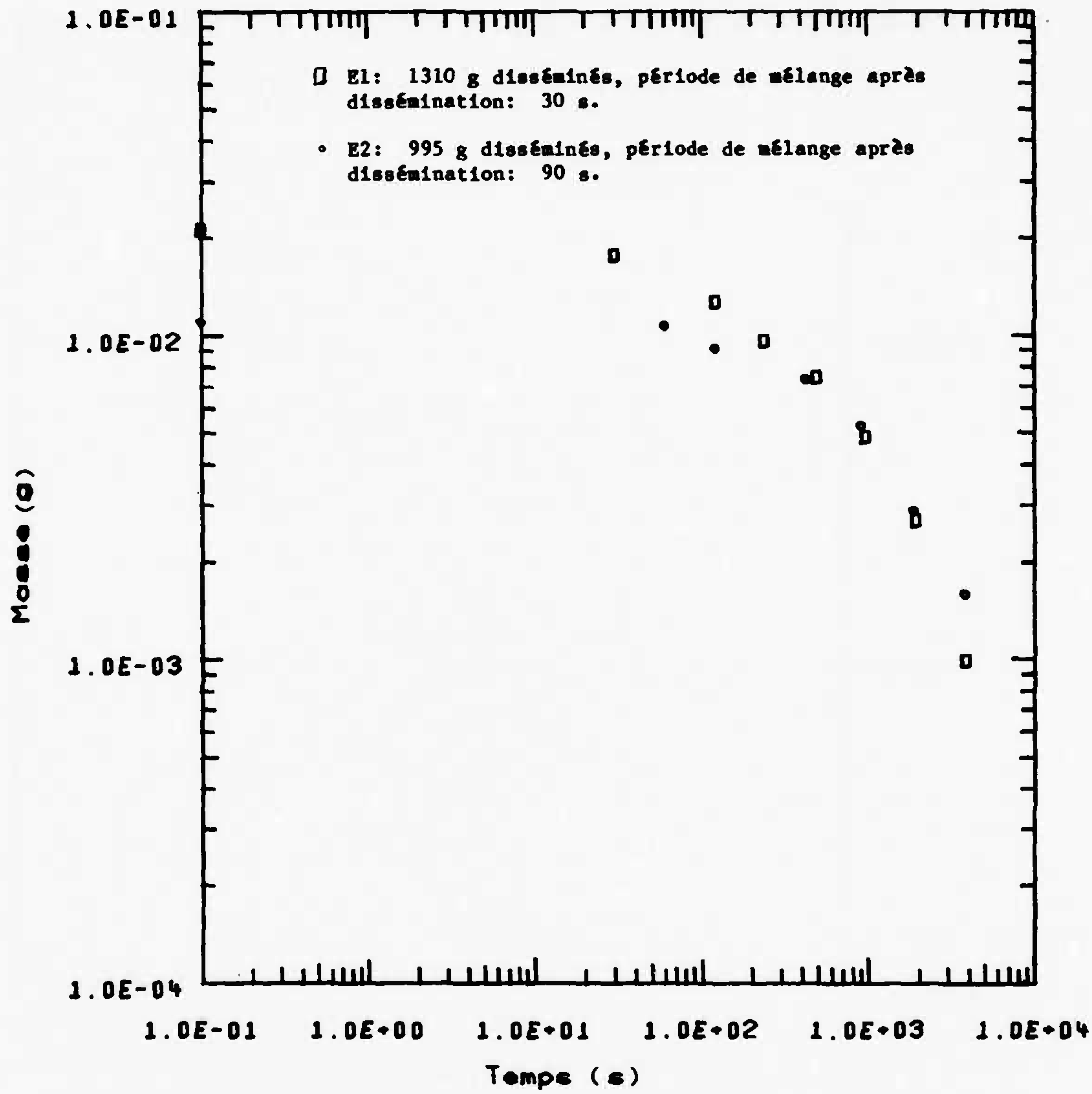


FIGURE 8 - Sédiments sur les filtres en fonction du début de leur exposition, la durée maximale d'exposition étant 5430 s.

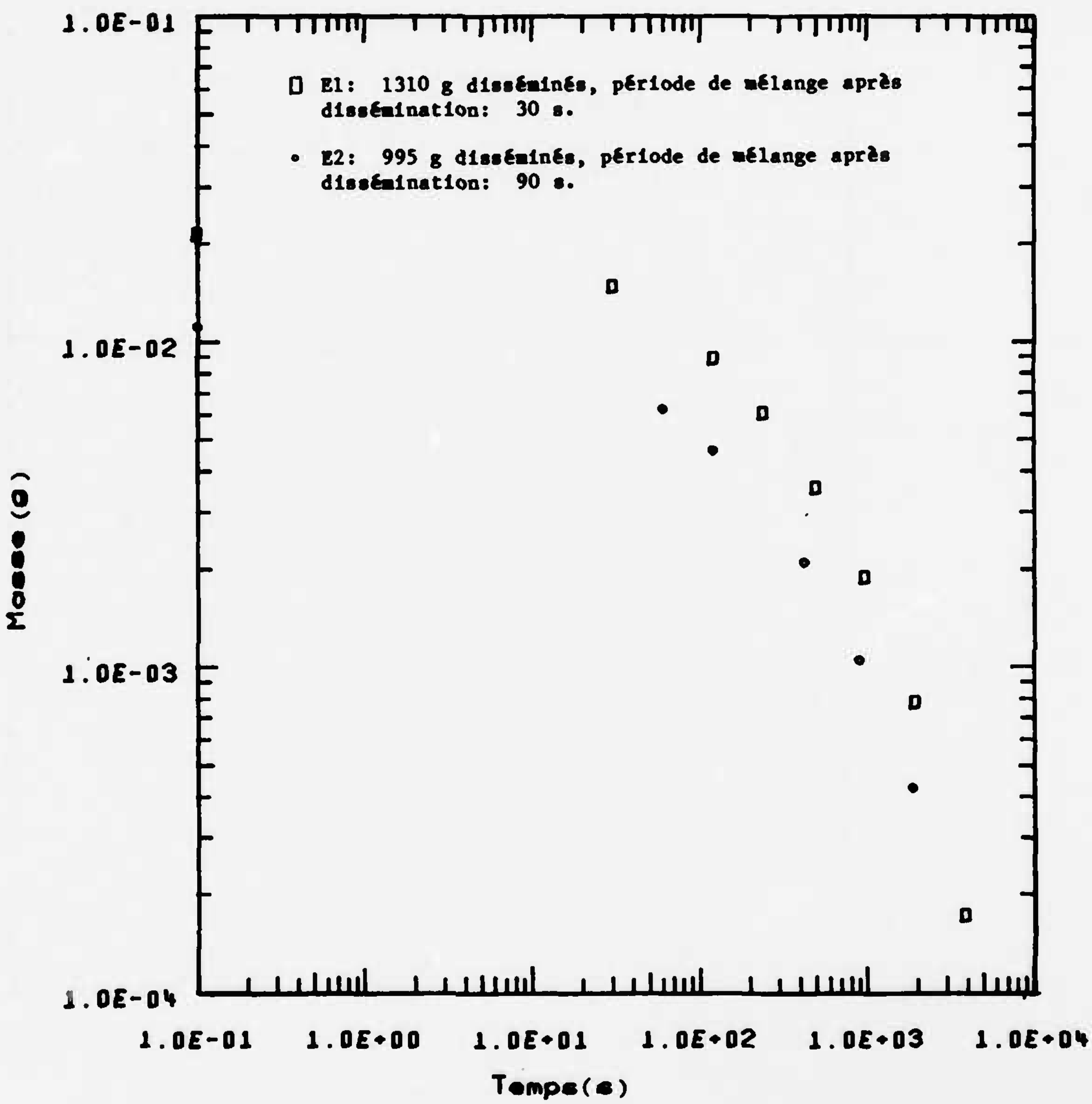


FIGURE 9 - Sédiments (calculés avec le compteur Coulter) sur les filtres en fonction du début de leur exposition, la durée maximale d'exposition étant 5430 s.

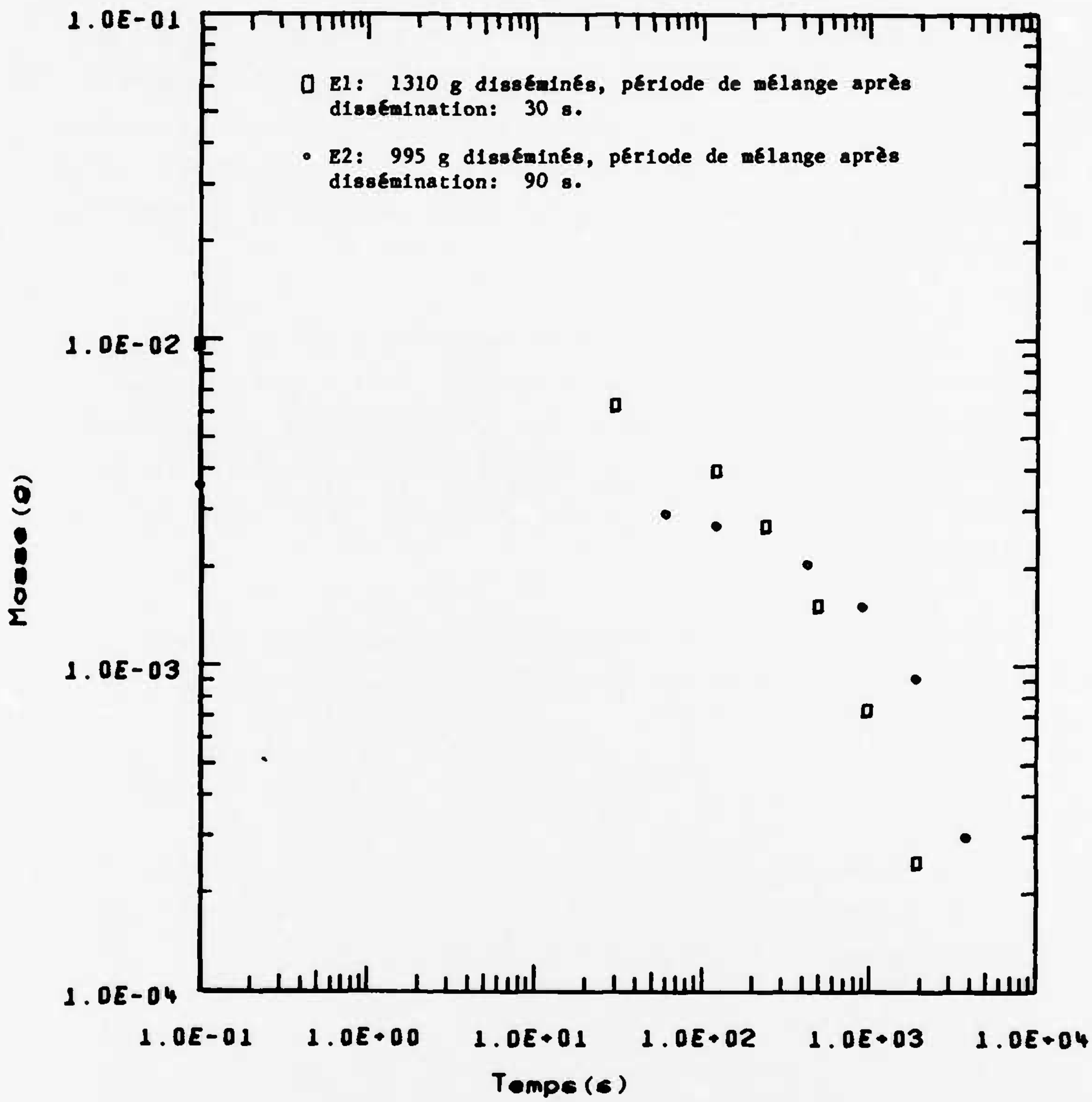


FIGURE 10 - Sédiments (calculés par la méthode TISE) sur les filtres en fonction du début de leur exposition, la durée maximale d'exposition étant 5430 s.

distribution mesurée avec le compteur Coulter concordent relativement bien pour les papiers-filtres découverts au début de la sédimentation. L'accord n'est pas aussi bon pour les résultats de l'expérience E2. Les ventilateurs de mélange ont fonctionné 60 s de plus au cours de l'expérience E2, ce qui a favorisé les pertes sur les parois et l'agglomération des particules. Les particules étant plus grosses, elles tombent plus rapidement; par conséquent, la quantité de sédiments est plus élevée.

L'écart relatif entre les sédiments expérimentaux et ceux théoriques (compteur Coulter) augmente avec le temps. Ceci est dû à l'agglomération par diffusion et à l'agglomération produite par la différence de chute des particules de grosseurs variées. Ainsi le rapport entre les sédiments expérimentaux et ceux théoriques est plus grand que 2 après 1000 s.

L'agglomération par diffusion d'un aérosol monodispersé peut être représentée mathématiquement par l'expression suivante:

$$\frac{dN}{dt} = -\sigma v N^2 \qquad [38]$$

où N est la densité de particules, σ est la section efficace de collision et v, la vitesse brownienne des particules. Le temps caractéristique d'agglomération par diffusion est donné par:

$$\begin{aligned} T_c &= (\sigma v N)^{-1} \\ &= \left(\frac{N\pi d^2}{4}\left(\frac{kT}{\rho_p \pi d^3/6}\right)^{1/2}\right)^{-1} \qquad [39] \end{aligned}$$

Ainsi pour $N = 6.4 \times 10^3$ cm^{-3}, d = 1.82 µm, et à la température de la pièce, T_c est approximativement 1×10^5 s, ce qui est une période de temps très longue. Ceci porte à conclure qu'en raison de la distribution relativement large des particules et de la hauteur du

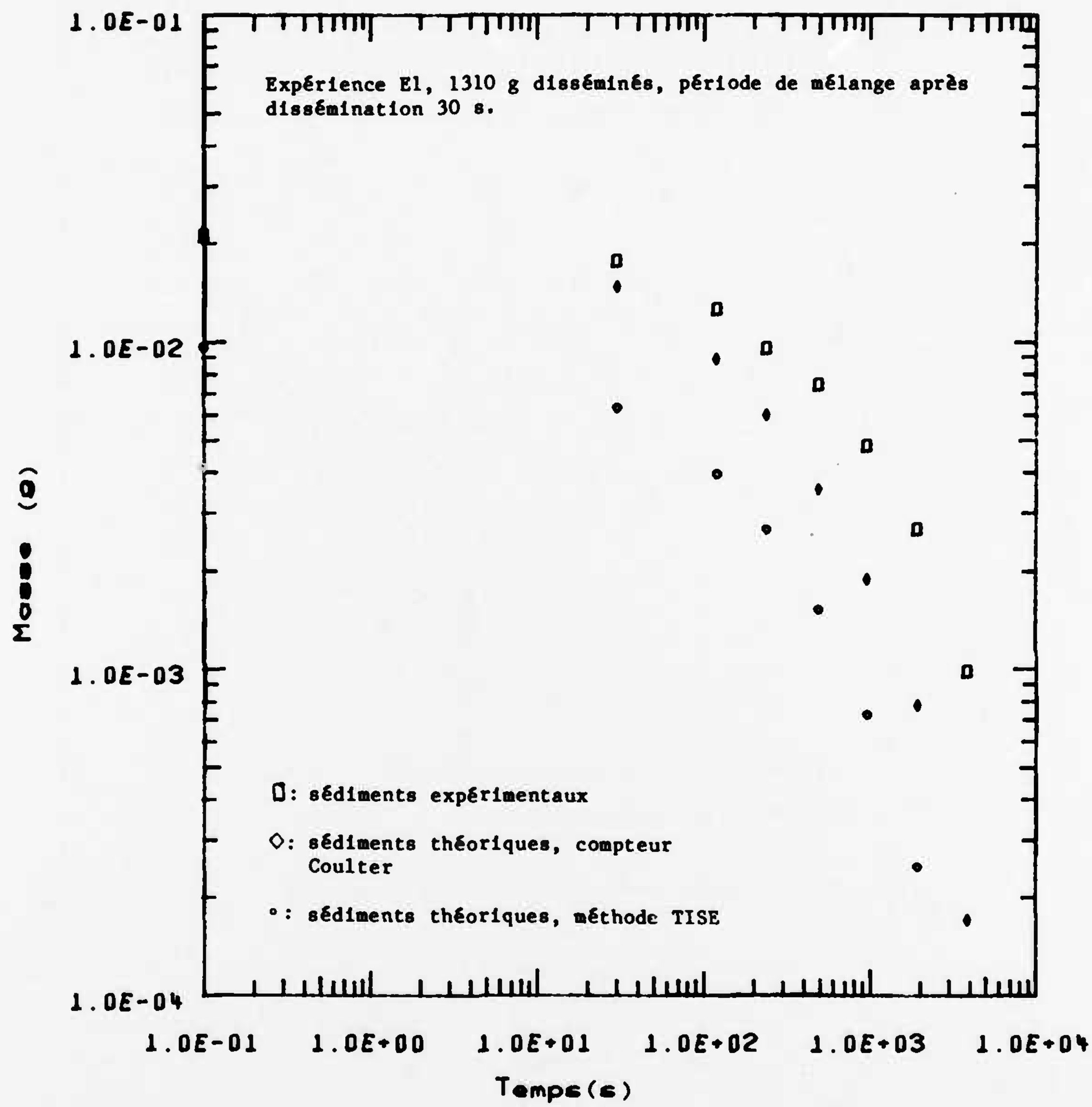


FIGURE 11 - Comparaison des sédiments expérimentaux et théoriques

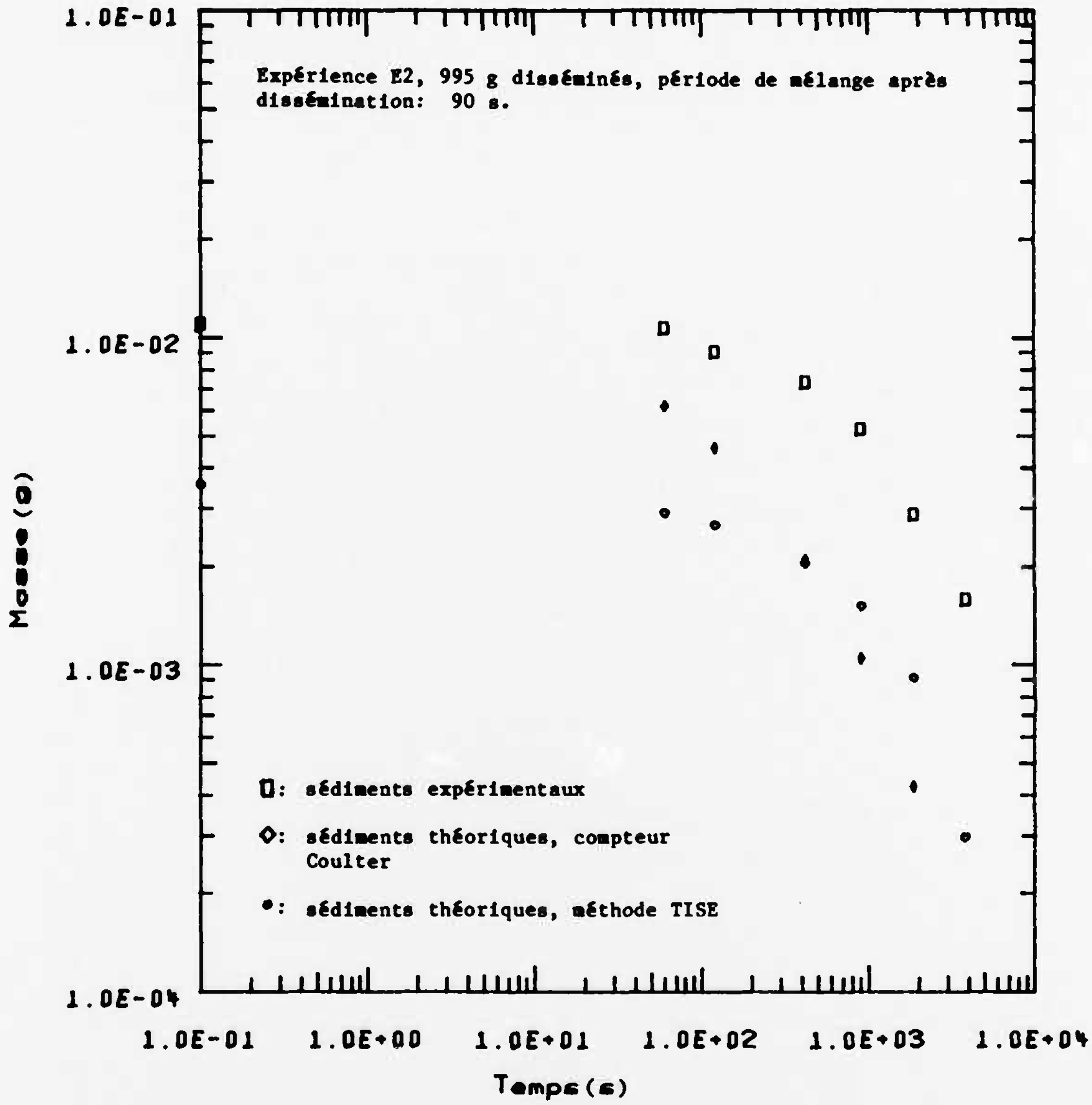


FIGURE 12 - Comparaison des sédiments expérimentaux et théoriques

silo, l'agglomération par diffusion est beaucoup moins importante que celle causée par la différence de chute des particules de grosseur différente. A cet effet, les calculs de Friedlander (réf. 1) démontrent que le processus d'agglomération par diffusion est dominant pour les particules de rayon plus petit que 1 µm, et que l'agglomération causée par la différence de vitesse de chute domine pour les particules de rayon plus gros que 1 µm. Notons que ces calculs sont basés sur l'interaction de particules de rayon de 1 µm avec des particules dont le rayon varie entre 0.1 et 10 µm.

4.4 Discussion

A la section précédente, il a été montré que les sédiments mesurés et ceux calculés (compteur Coulter) divergent à cause de l'agglomération des particules.

L'agglomération étant un processus cumulatif, son effet est donc moins important au début de l'expérience. C'est ce qui explique que les résultats antérieurs à 1000 s concordent relativement bien avec la valeur théorique des dépôts.

La méthode TISE n'est pas valide s'il y a interaction entre les particules. Il s'ensuit que les résultats obtenus à l'aide de cette technique ne sont plus valides après 1000 s. Après ce temps, toutes les particules plus grosses que 10 µm sont déposées. Par conséquent, les fonctions de distribution obtenues par la méthode TISE ne sont pas valides pour les particules dont le diamètre est plus petit que 10 µm.

5.0 CONCLUSION

Les limites de la technique TISE de détermination de la granulométrie des particules ont été établies en comparant les sédiments théoriques et les sédiments expérimentaux sur des papiers-filtres en

fonction du temps. Il en ressort que la hauteur considérable du silo augmente de façon très appréciable le temps de sédimentation des particules et que, par conséquent, l'agglomération devient importante. La fonction de distribution obtenue n'est pas valide pour les particules plus petites que 10 μm.

Il serait possible de déterminer la granulométrie des particules plus petites que 10 μm en déplaçant le laser et le détecteur à l'extrémité supérieure de la chambre de dissémination. En effet, la hauteur de la colonne d'aérosol au-dessus de la ligne de mesure serait moins grande et l'agglomération causée par la différence de vitesse de chute des particules serait moins importante. De plus, la durée de l'expérience étant plus courte, l'agglomération par diffusion serait moins grande.

6.0 REMERCIEMENTS

L'auteur désire remercier tout spécialement M. A.J. Evans de CDE, Porton Down, Angleterre, boursier TTCP au CRDV de 1980 à 1981, qui lui a donné des conseils techniques utiles au cours de ces expériences. L'auteur remercie également M. P. Pelletier de la section des explosifs brisants, division de la Propulsion, qui a mis au point un programme permettant l'ajustement d'une droite sur une échelle Log-Probabilité.

7.0 RÉFÉRENCES

1. Friedlander, K.K., "Smoke, Dust and Haze", John Wiley & Sons, 1977.

2. Deepak, A. and Vaughan, O.H., "Extinction-Sedimentation Inversion Technique for Measuring Size Distribution of Artificial Fogs", Applied Optics, Vol. 17, No. 3, February 1978.

3. Allen, T., "Particle Size Measurement", Powder Technology Series, Chapman and Hall, Third Edition 1981.

4. Green, H.L. and Lane, W.Q., "Particulate Clouds: Dusts, Smokes and Mists", E. & F.N. Spon Ltd. 1964.

5. Fuchs, N.A., "The Mechanics of Aerosols", Pergamon Press 1964.

6. Scheid, F., "Numerical Analysis" Schaum's Outline Series, McCraw-Hill Company.

APPENDICE A

Meilleure courbe de la forme $Y = A_f + \frac{A_0 - A_f}{A(e^{Ct}-1)+1}$.

On cherchera d'abord à linéariser cette équation pour ensuite déterminer les coefficients qui donneront l'écart quadratique minimum.

A1.1 Linéarisation de l'équation

Soit $$Y = A_f + \frac{A_0 - A_f}{A(e^{Ct} - 1) + 1} \qquad [A\text{-}1]$$

où t est la variable temps

A_0 est la valeur de Y lorsque t = 0,

A_f est la valeur de Y lorsque t = ∞,

A et C des coefficients à déterminer.

En modifiant [A-1] on a:

$$Y_+ \equiv \frac{A_0 - A_f}{Y - A_f} = A(e^{Ct} - 1) + 1 \qquad [A\text{-}2]$$

En dérivant l'expression de droite

$$Y'_+ = ACe^{Ct} \qquad [A\text{-}3]$$

et en prenant le logarithme naturel de cette dernière équation on obtient:

$$Z \equiv \ln Y'_+ = Ct + D \text{ où } D = \ln AC \qquad [A\text{-}4]$$

ce qui est une équation linéaire.

A1.2 Calcul des coefficients pour un écart quadratique minimum

Pour une équation linéaire du type $Z = Ct + D$, le calcul des coefficients pour un écart quadratique minimum se fait comme suit (réf. 6):

$$C = \frac{s_0\mu_1 - s_1\mu_0}{s_0 s_2 - s_1^2} , \quad D = \frac{s_2\mu_0 - s_1\mu_1}{s_0 s_2 - s_1^2} \qquad [A-5]$$

où s_0 est le nombre de points expérimentaux,
s_1 est $\Sigma\ t_i$,
s_2 est $\Sigma\ t_i^2$,
μ_0 est $\Sigma\ z_i$,
μ_1 est $\Sigma\ t_i z_i$.

Cependant, dans le cas qui nous intéresse il est nécessaire d'apporter quelques éclaircissements.

La valeur du coefficient A_0 est donnée directement par les coordonnées du premier point expérimental soit $(0, y_{1\,s})$ i.e. la densité optique au temps $t = 0$. Lorsque le temps tend vers l'infini, toutes les particules sont déposées et, par conséquent, le coefficient A_f égale zéro.

Les éq. A-3 et A-4 suggèrent que l'on prenne la pente et finalement le logarithme de celle-ci pour linéariser l'équation. Concrètement, on a

$$z_i = \ln A_0 \frac{1/y_{i+1} - 1/y_i}{t_{i+1} - t_i} \qquad [A-6]$$

où y_i et y_{i+1} sont les points expérimentaux pris à t_i et t_{i+1}. Il est à noter que puisqu'il a été nécessaire de calculer la pente, le nombre de z_i est égal à n - 1, où n est le nombre de points expérimentaux.

APPENDICE B

Informatisation de la méthode TISE

Entrer les points expérimentaux sur ordinateur avec un lecteur de points

Corriger les points expérimentaux contre toutes erreurs de rotation ou de translation produites par un mauvais positionnement de la feuille, comportant les points expérimentaux, sur le lecteur de points

Calibration de l'axe des temps et normalisation de la transmission

Calcul de la densité optique et calculs des coefficients de la meilleure courbe

Spécification des paramètres suivants

- Longueur du chemin optique
- Hauteur au-dessus du détecteur
- Densité du matériel composant les particules
- Viscosité de l'air

Calcul du diamètre des particules
Calcul de la fonction de distribution

DISTRIBUTION INTERNE

CRDV R-4278/82

1 - Chef
1 - Chef Adjoint
1 - Adjoint Militaire
1 - Directeur, Division de l'armement
1 - Directeur, Division de l'electro-optique
1 - Directeur, Division de l'informatique
1 - Directeur, Division de la Propulsion
10 - Bibliothèque
1 - M. G. Roy (auteur)
1 - Dr R. Lavertu
1 - Dr B.T.N. Evans
1 - Dr W.G. Tam
1 - Dr J. Beaulieu
1 - M. R. Corriveau

CRDV R-4278/82 (NON CLASSIFIE)

Bureau - Recherche et Développement, MDN, Canada.
CRDV, C.P. 8800, Courcelette, Qué. GOA 1RO

"Détermination de la distribution granulométrique des particules par la mesure de la transmission d'un aérosol sédimentant" par G. Roy

Ce rapport présente les résultats d'une étude de faisabilité de l'implantation d'une méthode optique, basée sur la mesure du coefficient d'extinction, pour déterminer la distribution granulométrique d'aérosols en sédimentation. L'étude a révélé que la hauteur de la chambre de dissémination peut avoir une influence sur la valeur des résultats obtenus.

CRDV R-4278/82 (NON CLASSIFIE)

Bureau - Recherche et Développement, MDN, Canada.
CRDV, C.P. 8800, Courcelette, Qué. GOA 1RO

"Détermination de la distribution granulométrique des particules par la mesure de la transmission d'un aérosol sédimentant" par G. Roy

Ce rapport présente les résultats d'une étude de faisabilité de l'implantation d'une méthode optique, basée sur la mesure du coefficient d'extinction, pour déterminer la distribution granulométrique d'aérosols en sédimentation. L'étude a révélé que la hauteur de la chambre de dissémination peut avoir une influence sur la valeur des résultats obtenus.

CRDV R-4278/82 (NON CLASSIFIE)

Bureau - Recherche et Développement, MDN, Canada.
CRDV, C.P. 8800, Courcelette, Qué. GOA 1RO

"Détermination de la distribution granulométrique des particules par la mesure de la transmission d'un aérosol sédimentant" par G. Roy

Ce rapport présente les résultats d'une étude de faisabilité de l'implantation d'une méthode optique, basée sur la mesure du coefficient d'extinction, pour déterminer la distribution granulométrique d'aérosols en sédimentation. L'étude a révélé que la hauteur de la chambre de dissémination peut avoir une influence sur la valeur des résultats obtenus.

DREV R-4278/82 (UNCLASSIFIED)

Research and Development Branch, DND, Canada.
DREV, P.O. Box 8800, Courcelette, Que. GOA 1RO

"Aerosol Size Distribution using the Extinction-Sedimentation Inversion Technique" by G. Roy

The results of a feasibility study for determining aerosol size distribution using the extinction-sedimentation inversion technique are presented. It was found that the height of the dissemination chamber, may affect the value of the results.

DREV R-4278/82 (UNCLASSIFIED)

Research and Development Branch, DND, Canada.
DREV, P.O. Box 8800, Courcelette, Que. GOA 1RO

"Aerosol Size Distribution using the Extinction-Sedimentation Inversion Technique" by G. Roy

The results of a feasibility study for determining aerosol size distribution using the extinction-sedimentation inversion technique are presented. It was found that the height of the dissemination chamber, may affect the value of the results.

DREV R-4278/82 (UNCLASSIFIED)

Research and Development Branch, DND, Canada.
DREV, P.O. Box 8800, Courcelette, Que. GOA 1RO

"Aerosol Size Distribution using the Extinction-Sedimentation Inversion Technique" by G. Roy

The results of a feasibility study for determining aerosol size distribution using the extinction-sedimentation inversion technique are presented. It was found that the height of the dissemination chamber, may affect the value of the results.

END

DATE
FILMED

10 — 83

DTIC